

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 15 021.8

**Anmeldetag:** 2. April 2003

**Anmelder/Inhaber:** Spinner GmbH Elektrotechnische Fabrik,  
83620 Feldkirchen-Westerham/DE

**Bezeichnung:** Hochleistungs-Koaxialleistungssystem-UHPTL

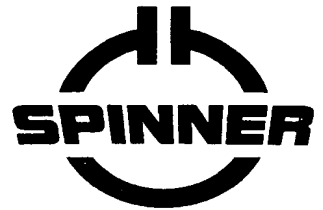
**IPC:** H 01 R, H 01 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. März 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

Eb: 1



**Hochleistungs-Koaxialleitungssystem - UHPTL**  
(Ultra High Power Transmission Line)

**1. Aufgabenstellung**

Es sollen koaxiale Übertragungsleitungen realisiert werden, die bei gleicher Größe eine mehrfache Leistung als nach dem bisherigem Stand der Technik übertragen können. Da die Leitungsgröße bei vielen Anwendungen nicht beliebig groß gewählt werden kann, muss eine Zwangskühlung erfolgen, die vor allem eine wirksame Abfuhr der Verlustwärme des Innenleiters ermöglicht.

Speziell im Bereich der Plasmaphysik müssen effektive Hochfrequenz-Leistungen übertragen werden, die um ein mehrfaches über dem bisherigen Niveau liegen. Bisher war z.B. üblich, eine Leistung von 2 bis 3 MW bis zu 20 s Pulsdauer zu übertragen. Danach folgte eine Pulspause von ca. 600 s. D.h. die relative Einschaltdauer lag bei 1:30. Bei den geplanten neuen Anlagen müssen diese und noch höhere Leistungen im Dauerbetrieb übertragen werden.

Die bisherigen Koaxialleitungen waren so konstruiert, dass zwei Koaxialleitungen mit gleichem Interface über ein sog. Kupplungselement verbunden wurden. Nun ist diese für die Projektierung von HF-Übertragungssystemen sehr günstige Anordnung nicht mehr möglich.

Hinweis: Derartige Koaxialleitungen sind z.B. genormt in 339 IEC...

Das Hauptproblem besteht also darin, die Abfuhr der am Innenleiter entstehenden Verlustwärme, aber auch der in den Isolierstützen erzeugten Verlustwärme, erheblich zu verbessern. Weiterhin soll durch das Gewicht des Kühlmediums das Gesamtgewicht der Übertragungsleitung nicht wesentlich erhöht werden.

Die Kühlung des Außenleiters ist z.B. mit bekannten Methoden realisierbar. Für die Kühlung des Außenleiters bestehen mehrere Möglichkeiten, z.B. Anbringen von Kühlschlangen oder Kühlrippen usw.. Sie ist daher nicht Gegenstand dieser Anmeldung.

## **2. Stand der Technik**

Bereits realisiert wurden Koaxialleitungen, bei denen der gesamte Innenleiter-Querschnitt, z.B. bei koaxialen Kabeln mit Wasser durchströmt wird. Bei supraleitenden Koaxialkabeln wurde sogar eine Kühlung mit flüssigem Helium realisiert.

Es gibt weiterhin Koaxialleitungen, bei denen durch den Innenleiter und /oder durch den ringförmigen Zwischenraum zwischen Innen- und Außenleiter ein geeignetes, gasförmiges Medium durchgeblasen wird. Die bei Zwangskonvektions-Kühlung mit Gasen erzielbare Steigerung der Wärmeübertragung ist jedoch bei vernünftigem Aufwand nicht ausreichend für die aktuellen Anforderungen

Eine weitere Verbesserung des Wärmetransportes vom Innen- zum Außenleiter ist durch Betrieb der Koaxialleitung bei erhöhten Drücken möglich. Das zusätzliche Umwälzen und Rückkühlen von gasförmigen Medien unter Überdruck ist prinzipiell möglich, aber mit erheblichem Aufwand verbunden.

## **3. Lösung der Aufgabe**

Die neu vorgestellte Steckverbindung, die in fig. 4 im gesteckten und in fig. 5a, fig. 5b und fig.3 im getrennten Zustand dargestellt ist, besitzt im Bereich des Innenleiters eine sog. Stecker-/Kuppler-Anordnung.

Zur Verbindung von zwei Koaxialleitungsstücken wird vorzugsweise eine kurzbauende Steckverbindung (fig. 4) gewählt, wobei speziell der elastische Kontaktpartner - die Kontaktbuchse - vorteilhaft hinter der Vorderkante des Außenleiterflansches etwas zurücksteht, um Beschädigungen zu vermeiden (fig. 5a).

Diese Kontaktbuchse (CE female) wird ferner geschützt durch einen hervorstehenden massiven Bund (B), der gleichzeitig zur voreilenden Führung im Gegenstecker dient.

Die Kühlung des Innenleiters erfolgt **nicht** durch Ausfüllen des gesamten inneren Querschnittes des Innenleiters mit dem Kühlmedium (was insbesondere bei Flüssigkühlung zu einem erheblichen zusätzlichen Gewicht des Übertragungssystems führen würde), sondern die Kühlung erfolgt durch den Ringspalt zwischen dem Innenleiterrohr und einem konzentrischen kleineren Rohr im Innenleiterrohr (fig. 1) oder durch ein Profilrohr mit Kühlkanälen zwischen dessen Innendurchmesser und Außendurchmesser (fig. 2 und fig. 2a).

Ein derartiges Profil kann z.B. als Aluminiumstrang-Pressprofil preiswert realisiert werden. Die dichte Verbindung zwischen dem Profilkühlrohr zum Innenleiteranschlussstück, in dem die Isolierstützen abgefangen werden, kann entweder durch schweißen, evtl. aber auch mit O-Ringen realisiert werden. Vorzugsweise sollte die Verbindung im Bereich des HF-Stromes durch schweißen oder löten erfolgen, um weitere Kontaktstellen im Übertragungssystem zu vermeiden. Die Abdichtung der Innenfläche des Profilrohres zum Innenleiteranschlussstück hin kann jedoch auch durch O-Ringe oder dgl. realisiert werden. In diesem Falle ist nur **eine** Schweissnaht zum Innenleiteranschlussstück erforderlich.

Die Anzahl der rohrförmigen Isolierstützen richtet sich nach den jeweiligen Erfordernissen, z.B. im Bezug auf Belastung, Einbaulage u.U. aber auch nach dem erforderlichen Kühlmediumdurchsatz. In der Praxis wird man vermutlich drei – evtl. vier – rohrförmige Isolierstützen verwenden. Das Kühlmedium wird vorteilhafterweise über einen Verteiler gleichzeitig in alle rohrförmigen Isolierstützen eingeleitet bzw. am anderen Ende der Koaxialleitung wieder herausgeführt.

Hinweis:

Eine Koaxialleitung wird vorzugsweise mit kreisförmigem Querschnitt konzipiert, sie kann jedoch auch andere Querschnittsformen für Außenleiter und Innenleiter haben.

Für die Realisierung von Koax-Übertragungssystemen werden auch Winkelstücke benötigt. Diese werden grundsätzlich mit drehbaren Flanschen ausgestattet, um sie in jede gewünschte Richtung schwenken zu können (siehe fig. 6)

Die Kühlkanäle im Innenleiterkrümmer können mit verschiedenen Methoden hergestellt werden, wie z.B. Feingussteil mit entsprechenden Kühlkanälen.

In den Stirnflächen der Außenleiterverbindung (fig. 5a und 5b) befinden sich Dichtnuten. Um die Steckverbindung querdicht zu machen, werden vorteilhafterweise sog. Fiederbleche mit integrierter Dichtung (fig. 9) verwendet.

Bei Übertragungsleitungen werden u.U. auch längsdichte Isolierstützen (sog. Gasbarrieren) benötigt. In diesem Falle wird an Stelle rohrförmigen Isolierstützen eine Vollscheibe mit radialen Bohrungen für das Kühlmedium vorgesehen (fig. 7). Das Kühlmedium wird durch den Außenleiterflansch eingespeist, durchströmt die Isolierstütze und erreicht vorteilhafterweise über einen Ringkanal die Kammer (CH). Je nach Durchfluss kann auch im Außenleiterflansch ein Ringkanal vorgesehen werden.

Hinweis:

Bei größeren Dilatationen  $\Delta l$  müssen im Bereich des Außenleiters ggf. Langlöcher vorgesehen werden. In diesem Fall wäre ggf. die Dichtnut für den O-Ring und auch die Nut zur Aufnahme des Kontaktelements beim axial verschieblichen Führungsflansch (F) ebenfalls der Kontur des Langloches folgend zu konstruieren.

Durch die Führung des Kühlmediums im Ringspalt bzw. in den Kühlkanälen ist bei gleich großer Strömungsgeschwindigkeit, d.h. Wärmeübergangs-Eigenschaften (vom Kühlmedium zur Innenleiterwand) ein wesentlich geringerer Durchfluss des Kühlmediums erforderlich, als bei Durchströmung des gesamten Innenquerschnitts des Innenleiters. Dies wirkt sich insbesondere bei größeren Energieleitungen aus, z.B. mit einem Innenleiterdurchmesser von ca. 120 mm und größer.

Eine Zwangskühlung ist bei sehr hohen Leistungen jedoch nicht nur für den Innenleiter erforderlich, sondern auch für die Isolierstützen. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, die Isolierstützen – z.B. in Form von Rohren aus Dielektrikum (vorzugsweise Keramik) zu realisieren, wobei deren Innenquerschnitt ebenfalls vom gleichen Kühlmedium wie der Innenleiter durchströmt wird. Die Abmessungen dieser rohrförmigen Isolierstützen sind so zu wählen, dass

- a) die mechanischen Belastungen bedingt durch Innenleitergewicht (einschließlich Kühlmedium), durch Steckkräfte, sowie durch mechanische Erschütterungen) sicher aufgenommen werden können;
- b) der Innenquerschnitt dieser Isolierstützen den zur Kühlung des Innenleiters erforderlichen Durchfluss bei vernünftigen Druckdifferenzen ermöglicht;
- c) die Kühlung der Isolierstützen sichergestellt ist.

Weiterhin ist zu beachten, dass die dielektrischen Eigenschaften des Kühlmediums und der rohrförmigen Isolierstütze durch eine hochfrequenz-technische Optimierung ( d.h. möglichst hohe Reflexionsfreiheit) der Isolierstütze berücksichtigt sind.

Des weiteren müssen bei der Isolierstütze mit Innenkühlung deren Hochspannungseigenschaften optimiert werden, z.B. durch entsprechende Formgebung des Innenleiters und Außenleiters im Bereich der Isolierstütze.

Besonderes Augenmerk ist auf die Kontakte der Innenleiterverbindung zu richten. Hier muss sichergestellt werden, dass die Kontakte für die zu übertragenden Ströme (mehrere tausend Ampere) richtig dimensioniert sind. Die auch bei geringen Kontaktwiderständen erzeugte Verlustwärme muss sicher in die angrenzenden Innenleiter-Anschlußstücke (IA) bei möglichst geringen Temperatur-Differenzen eingeleitet werden. D.h. der Abstand von gekühltem Innenleiter-Anschlußstück bis zu der Kontaktzone soll so gering wie möglich gewählt werden.

Für die Kontaktelemente sind Werkstoffe mit möglichst guter elektrischer Leitfähigkeit sowie Wärmeleitfähigkeit zu wählen.

Die Kontaktelemente - federnde Kontaktbuchse (CE-female) auf der einen Seite und starrer Kontakt (CE-male) auf der anderen Seite - können entweder einteilig an das Innenleiter-Anschlußteil (IA) zur Aufnahme der Isolierstützen angearbeitet werden, oder durch Anflanschen (z.B. fig. 1) an die Innenleiter-Anschlußstücke. Zumindestens beim federnden Kontaktpartner ist es günstiger, dieses Kontaktteil an das Innenleiter-Anschlußstück anzuflanschen, da dann für dieses Bauteil eine optimale Werkstoffauswahl bezüglich Federeigenschaften stattfinden kann.

In der Regel wird dies ein Kupferwerkstoff mit eingelagerten Keramikpartikeln sein (z.B. Glidcop<sup>(R)</sup>) oder z.B. niedrig legierte Kupferlegierungen mit Beryllium-, Nickel, Kobalt- und evtl. Zirkonium-Bestandteilen sein.

Bei jedem Koaxleistungssegment wird das Kühlwasser an einem Ende zugeführt und am anderen Ende wieder herausgeleitet (fig. 1).

Das Kühlmedium wird über die Isolierstützen zunächst in eine Kammer (CH) und von dort über axiale Durchbrüche (D), wie in fig. 1 und fig. 1a dargestellt, in eine Ringnut (N) in den Innenleiter-Ringspalt bzw. - Kühlkanäle eingespeist und in umgekehrter Reihenfolge wieder herausgeführt.

Die Längen (L) der Rohrleitungsstücke müssen so gewählt werden, dass sie noch handlebar sind und dass die Isolierstützen die Innenleitergewichte und weiteren Belastungen sicher abstützen können.

Die Innenleiter-Anschlusstücke (IA) und die anschließenden Rohre können z.B. aus Kupfer oder aus Gewichtsgründen auch aus Aluminium gefertigt werden. Bei Aluminium empfiehlt es sich, die stromführenden Flächen durch Verkupfern oder Versilbern auf geringst mögliche HF-Verluste zu optimieren.

Hinweis:

Die mit dem Kühlmedium in Berührung kommenden Oberflächen müssen bezüglich elektrochemischer Spannungsreihe sorgfältig abgestimmt sein.

Die Länge des Führungsflansches (F) muss so gewählt werden, dass durch die Isolierstütze die HF-Abstrahlung nach außen innerhalb der vorgeschriebenen Grenze bleibt (z.B. besser 80dB).

Damit bei unterschiedlicher Dilatation von Innen- und Außenleiter die Isolierstützen nicht durch Biegebelastungen zerstört werden, ist es erforderlich, dass an einem Ende der Koaxleitung – vorzugsweise die äußere Befestigung der Isolierstützen – einen axialen Freiheitsgrad  $\Delta 1$  (fig. 1, fig. 1a und fig. 1b) bekommt, um diese Dilatation abzufangen. Hierzu wird der Führungsflansch (F) für die Keramikstütze mit einem Kontaktelement (CM), wie in fig. 3 dargestellt, – z.B. sog. Wurmkontakt – ausgestattet, der über die Anschraubfläche des Führungsflansches (F) am Außenleiter diesen gleitend kontaktieren kann (fig. 3). Im Flansch befindet sich weiterhin eine Dichtung, z.B. ein O-Ring (O1), um den Außenleiter bei Betrieb mit Überdruck druckdicht zu machen. Ein weiterer O-Ring (O2) befindet sich im zylindrischen Teil der Isolierstütze, so dass die Druckdichtigkeit auch in diesen Bereich der Isolierstütze gegeben ist (fig. 3).

Die Führungsflansche (F) sind in axialen Nuten (fig.1, fig. 1a, fig. 1b und fig.3) des Außenleiter-Flansches (OF) lagerichtig positioniert und nur in Längsrichtung um  $\Delta 1$  (ca. 1 mm) verschieblich, je nach Rohrlänge (L). Diese Verschieblichkeit wird dadurch erzielt, dass die Stärke des Führungsflansches (F) etwas geringer ist als die Tiefe der Führungsnut (siehe fig.3 – Spalt  $\Delta 3$ ). Mit dem Druckflansch (FL) wird der Führungsflansch (F) gegen das Kontaktelement (CM) gedrückt und gleichzeitig der O-Ring (O1) mit einer genügend großen axialen Pressung versehen.

Am anderen Ende der Koaxleitung werden die Führungsflansche (F) mit dem Druckflansch festgeklemmt oder direkt verschraubt mit dem Außenleiterflansch (OF).



Das radiale Spiel  $\Delta 3$  der Isolierstütze im Führungsflansch (fig. 3) erlaubt die erforderliche radiale Ausdehnung (durch Dilatation) der rohrförmigen Isolierstütze.

Der Kühlmediumanschluß an den rohrförmigen Isolierstützen kann z.B. über ein Adaptorelement (A) erfolgen, welches formschlüssig mit dem Führungsflansch (F) verbunden ist (fig. 3).

Als Alternative zum axial verschieblichen Führungsflansch (F) (gem. fig. 1, fig. 1a, fig.1b und fig.3) wird eine Lösung vorgeschlagen, bei der die rohrförmigen Isolierstützen im Innenleiter und im Führungsflansch (F) schwenkbar sind, um eine Drehachse (M), die sich ungefähr auf der Höhe des O-Ringes zur Abdichtung der Isolierstütze im Innenleiter und im Führungsflansch, befindet. Um diese Schwenkbewegung im Innenleiter bzw. Führungsflansch zu ermöglichen, ist entweder die Isolierstütze in diesem Bereich kugelförmig auszubilden (fig.8), um den kleinen Schwenkwinkel ( $\alpha$ ) zu ermöglichen oder alternativ die Aufnahmebohrung für die rohrförmige Isolierstütze so auszuführen, dass diese Schwenkbewegung möglich ist (fig. 8a).

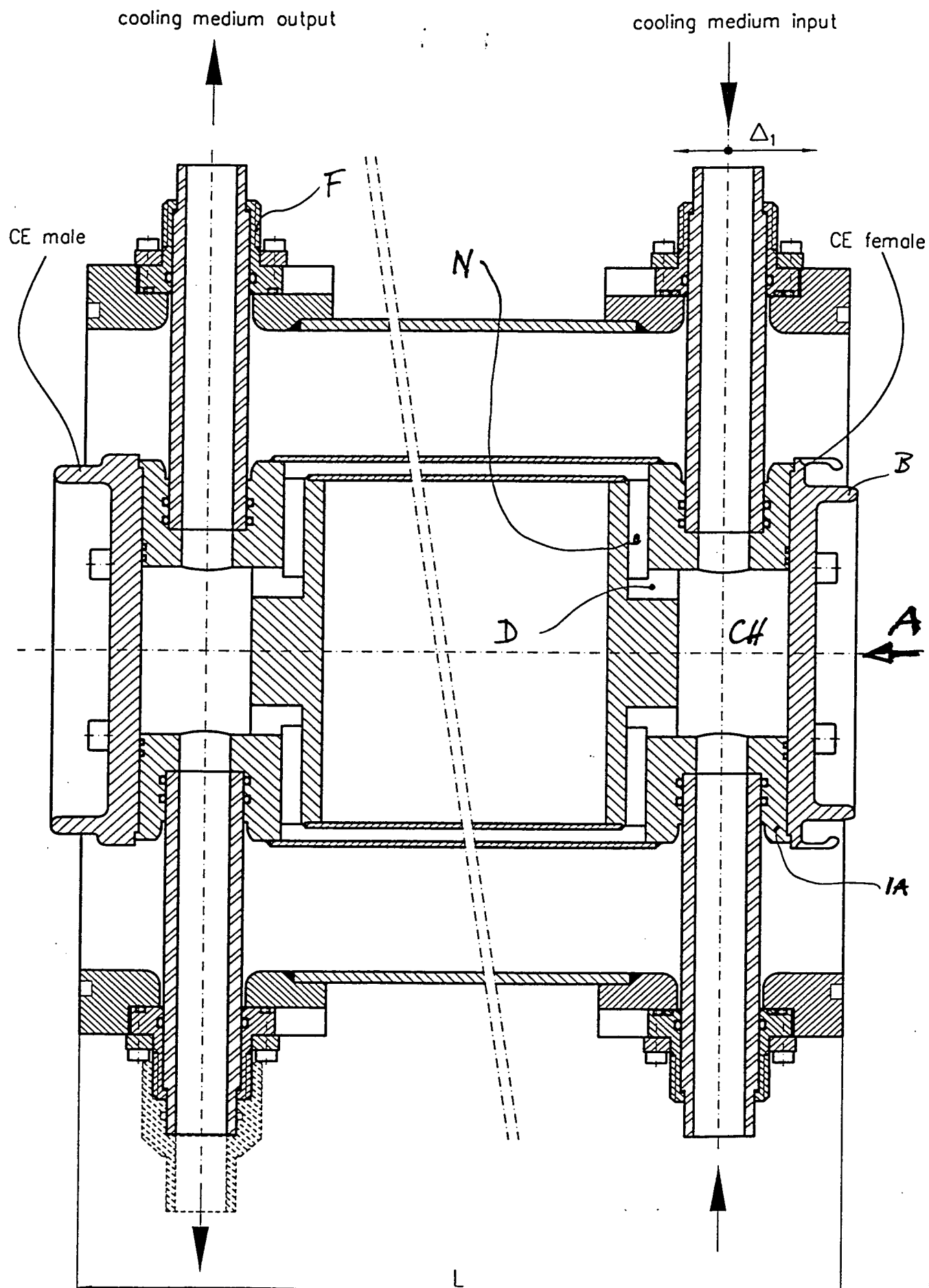
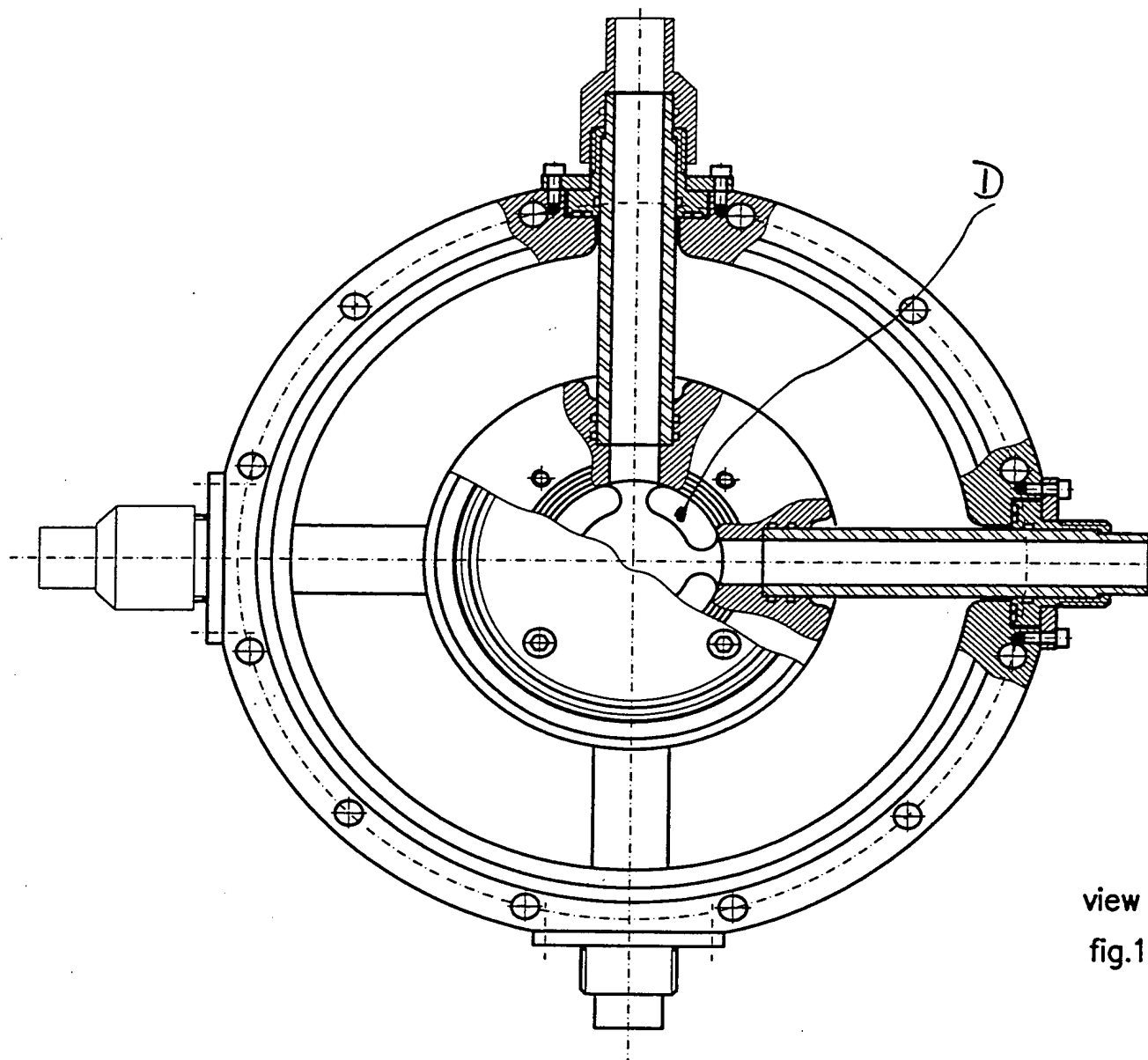


fig.1



view A  
fig.1a

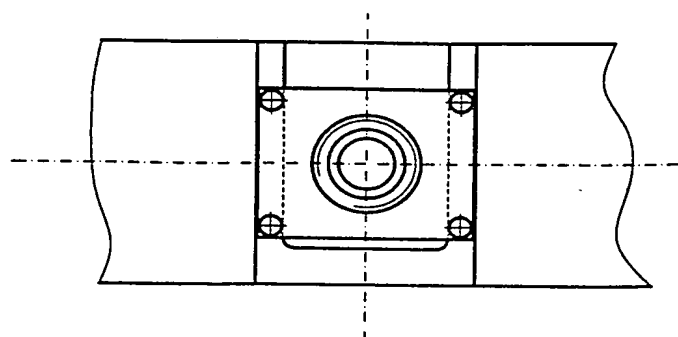


fig.1b

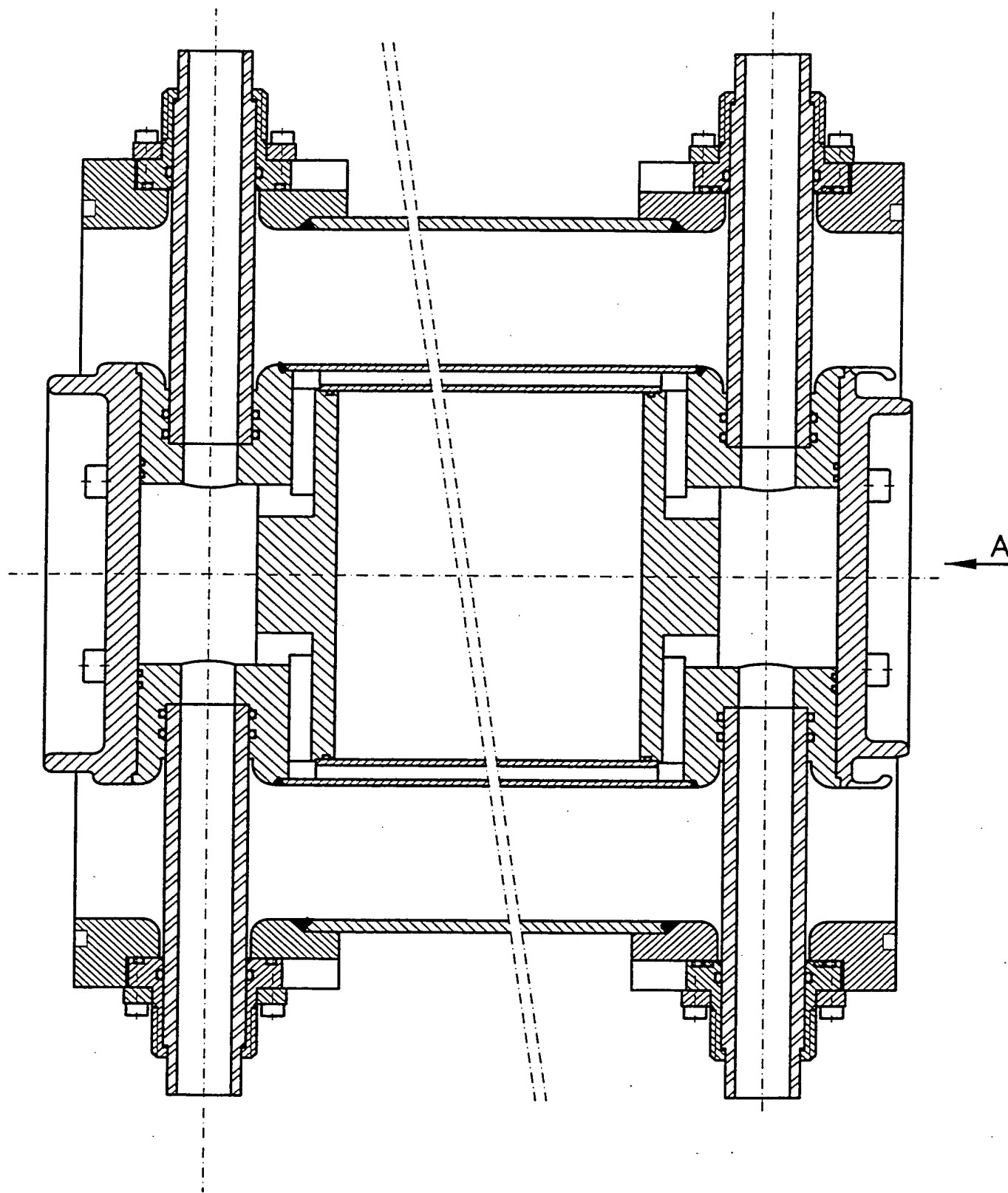


fig.2

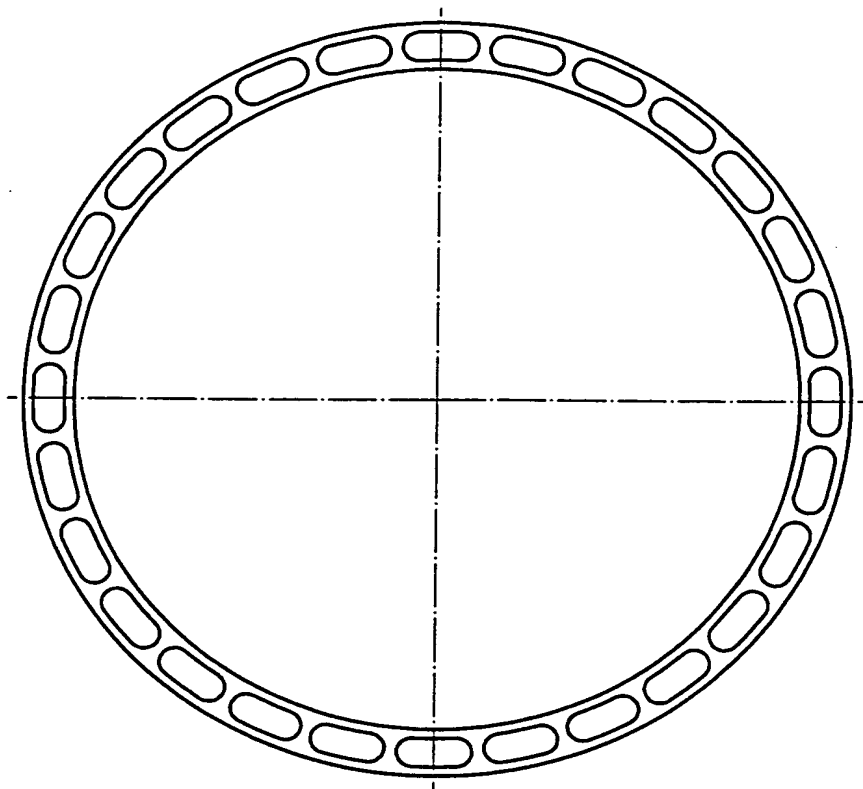


fig. 2a

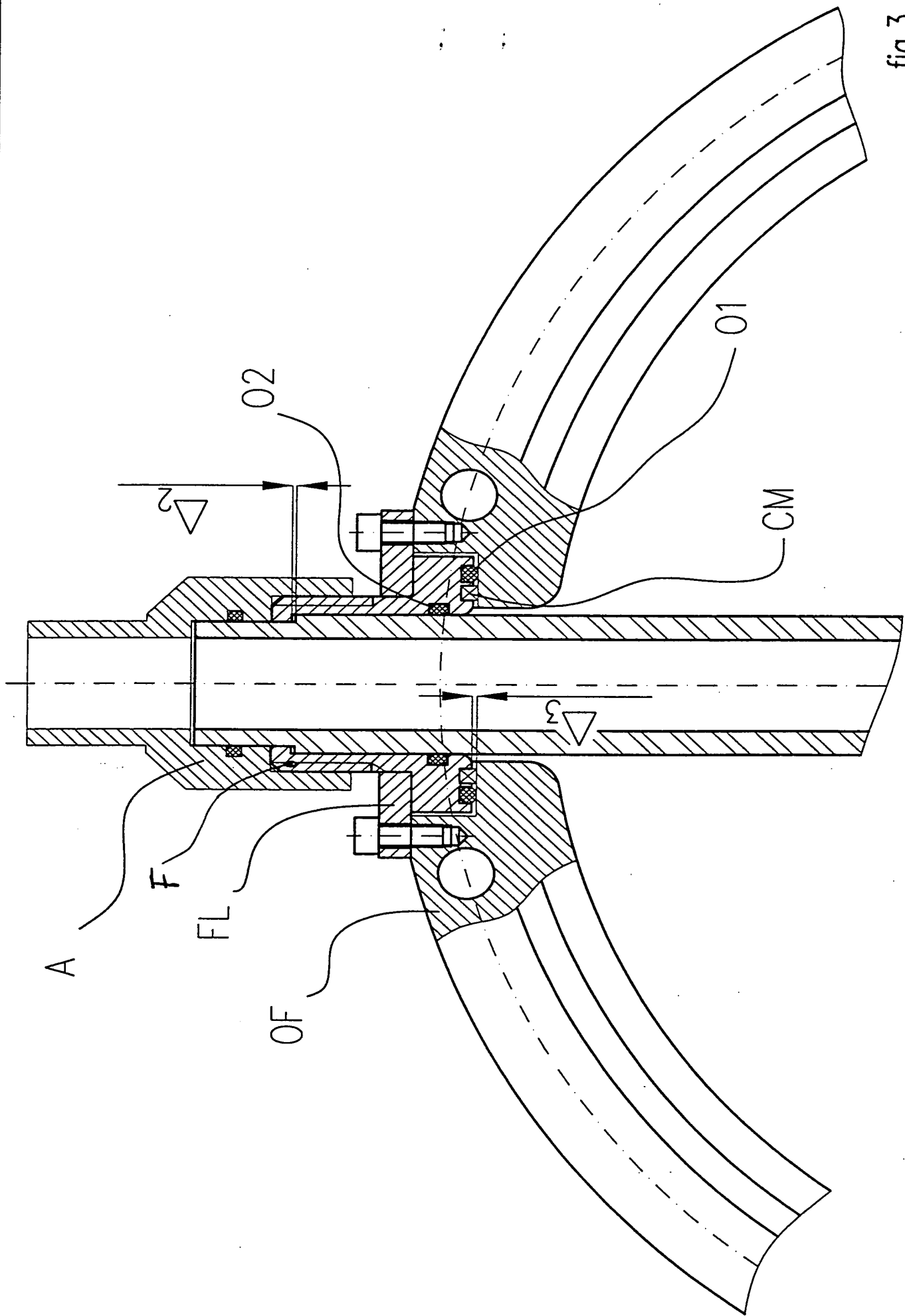


fig.3

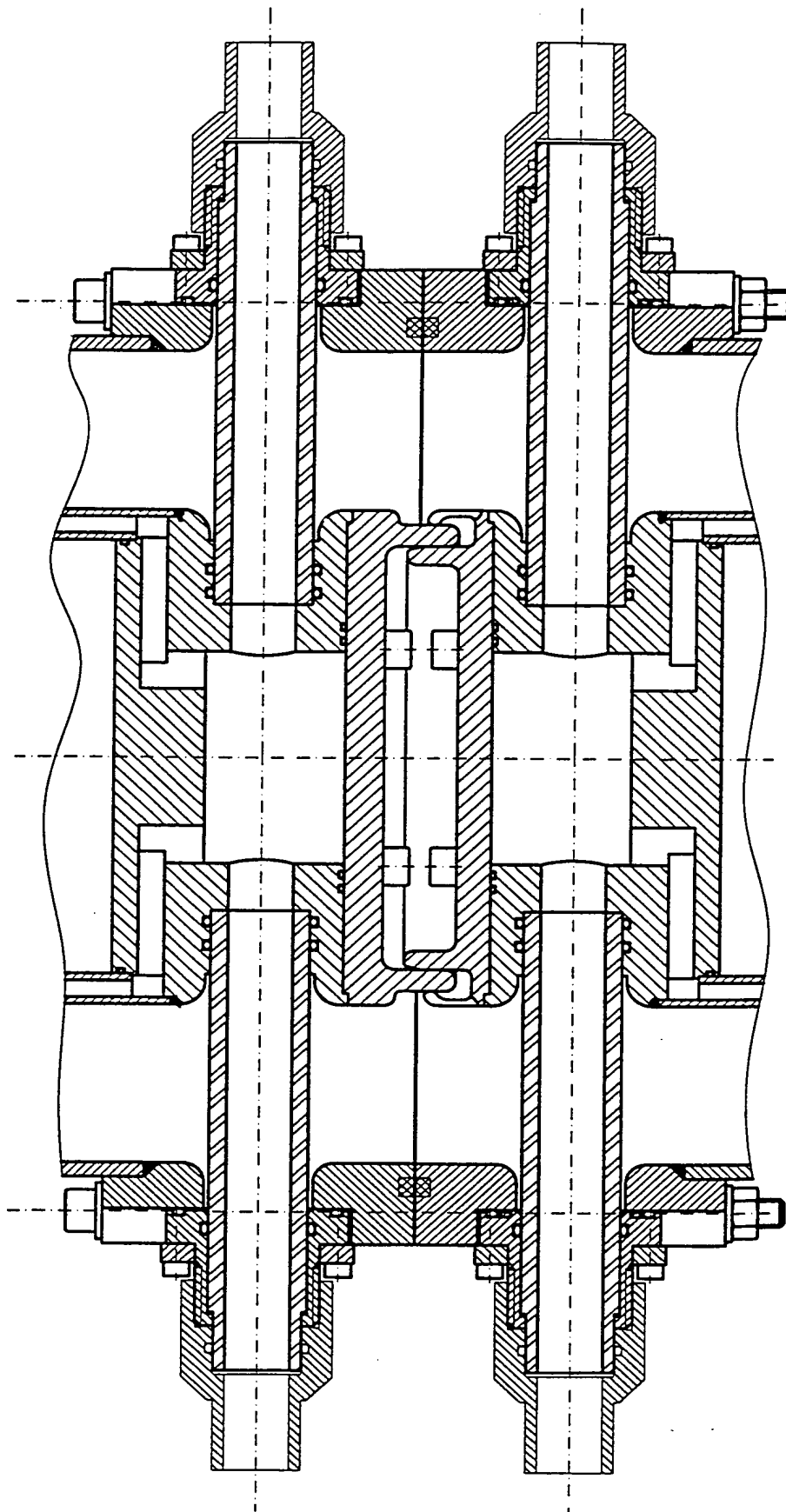


fig.4

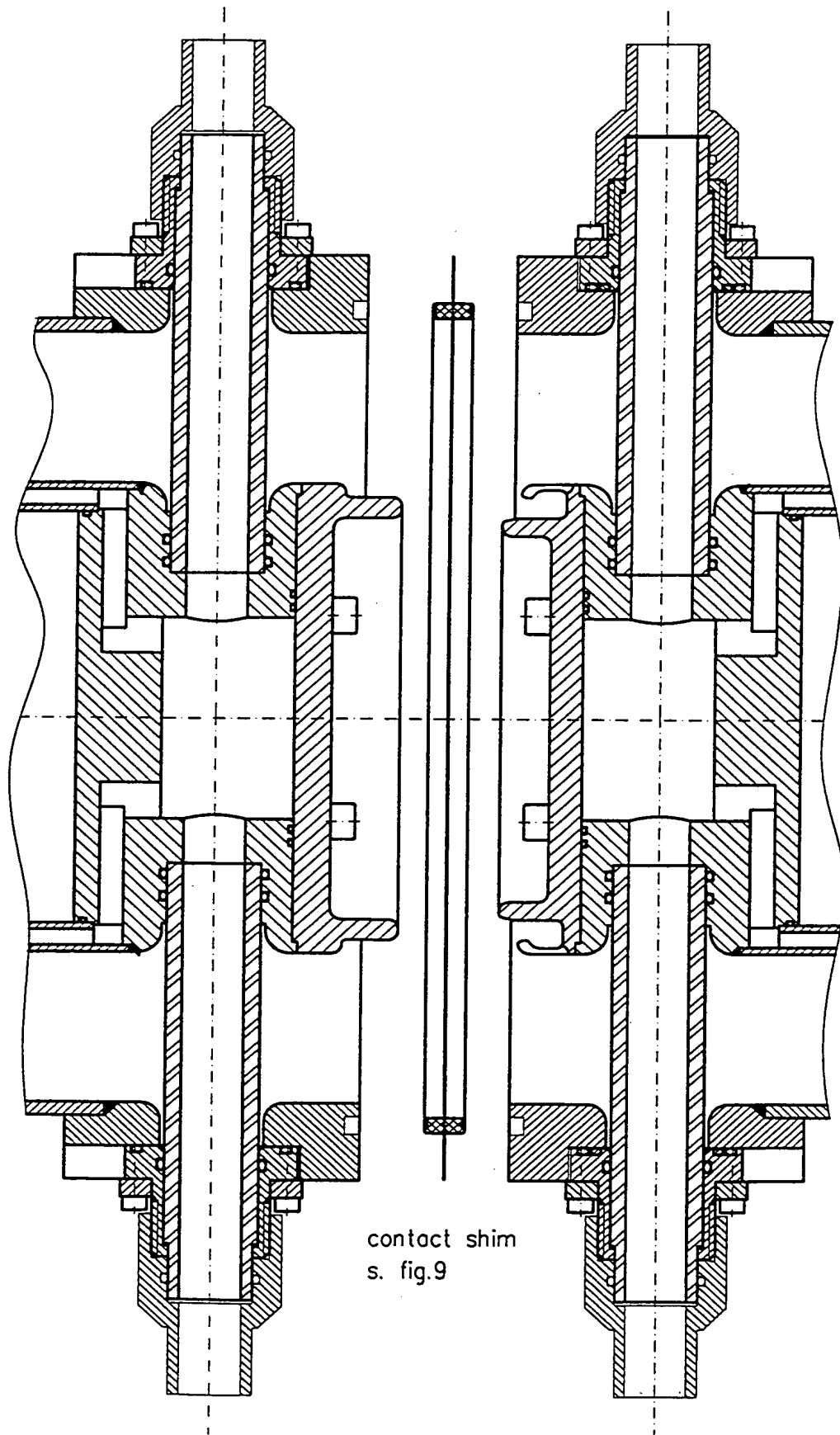


fig.5a

fig.5b

male interface

female interface



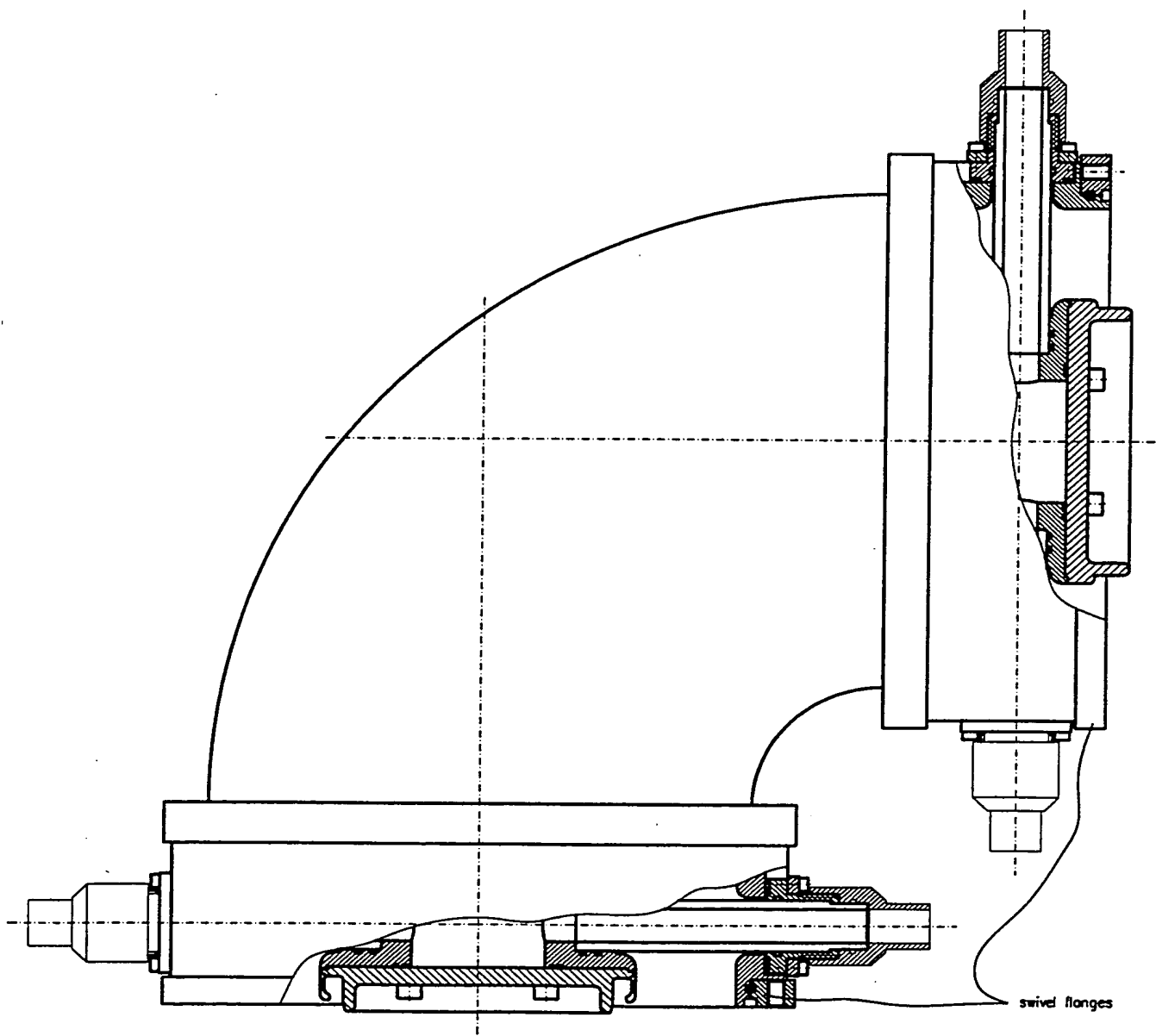


fig.6

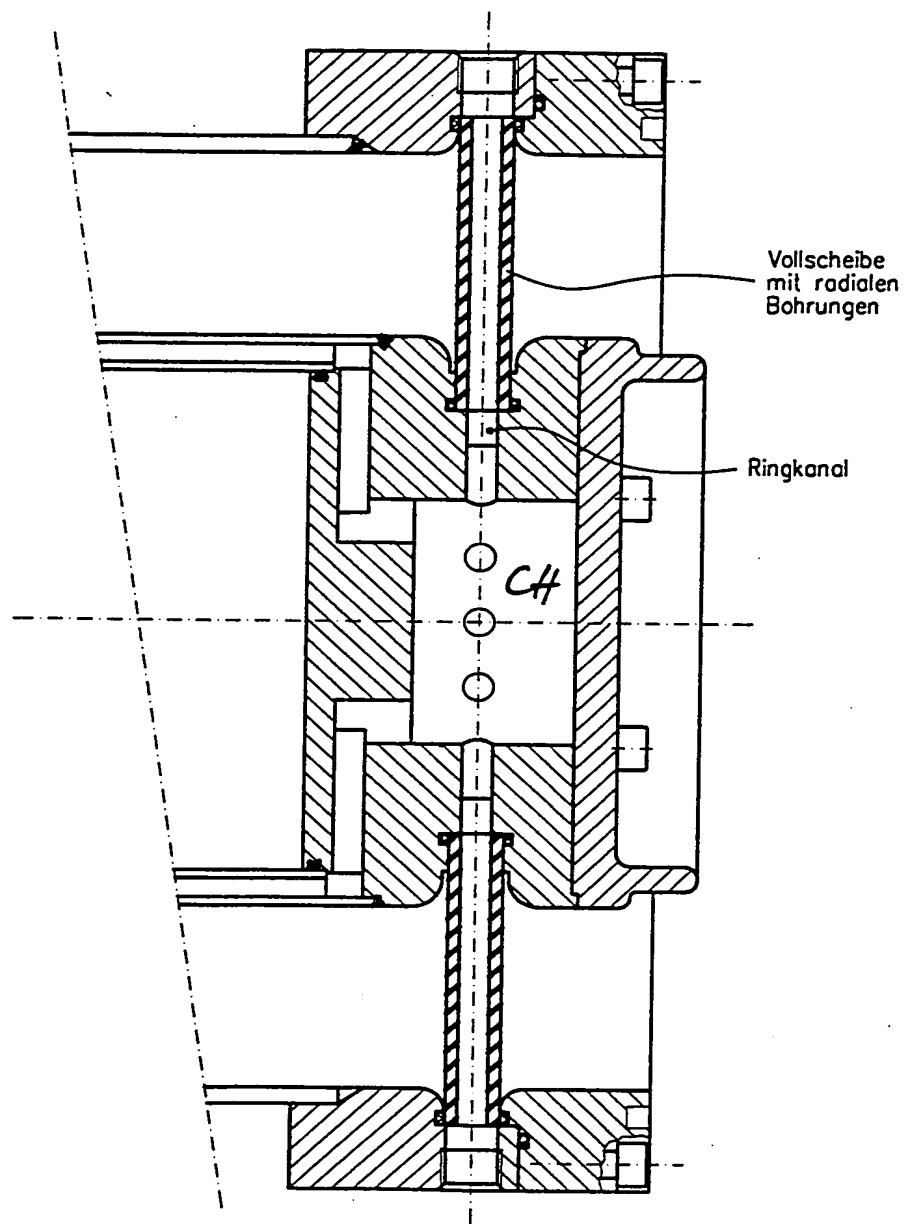


fig. 7

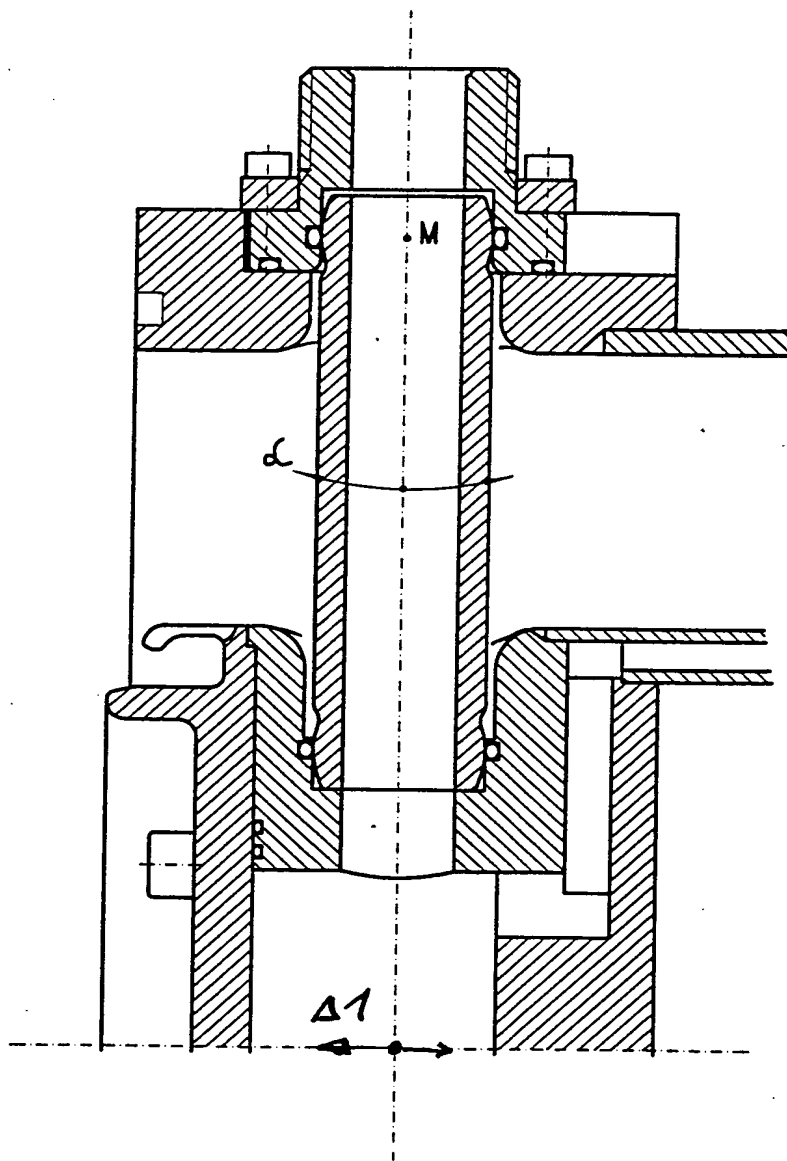


Fig. 8

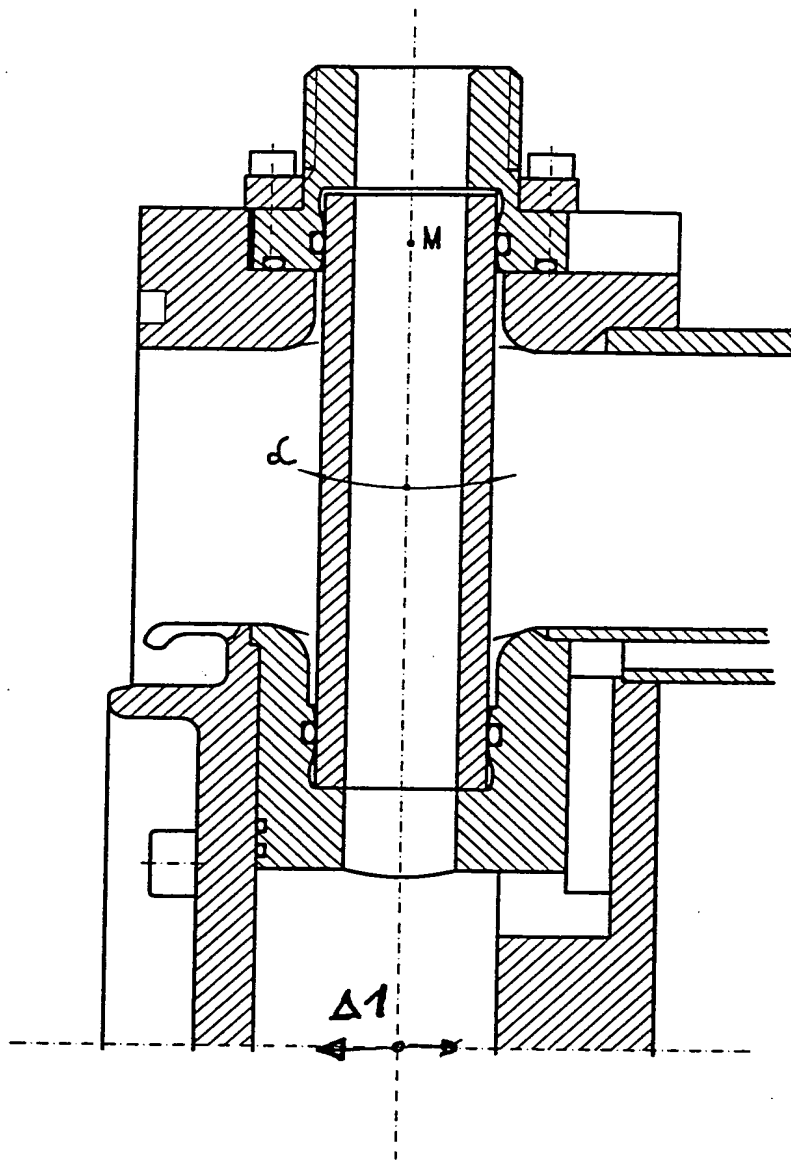


Fig. 8a

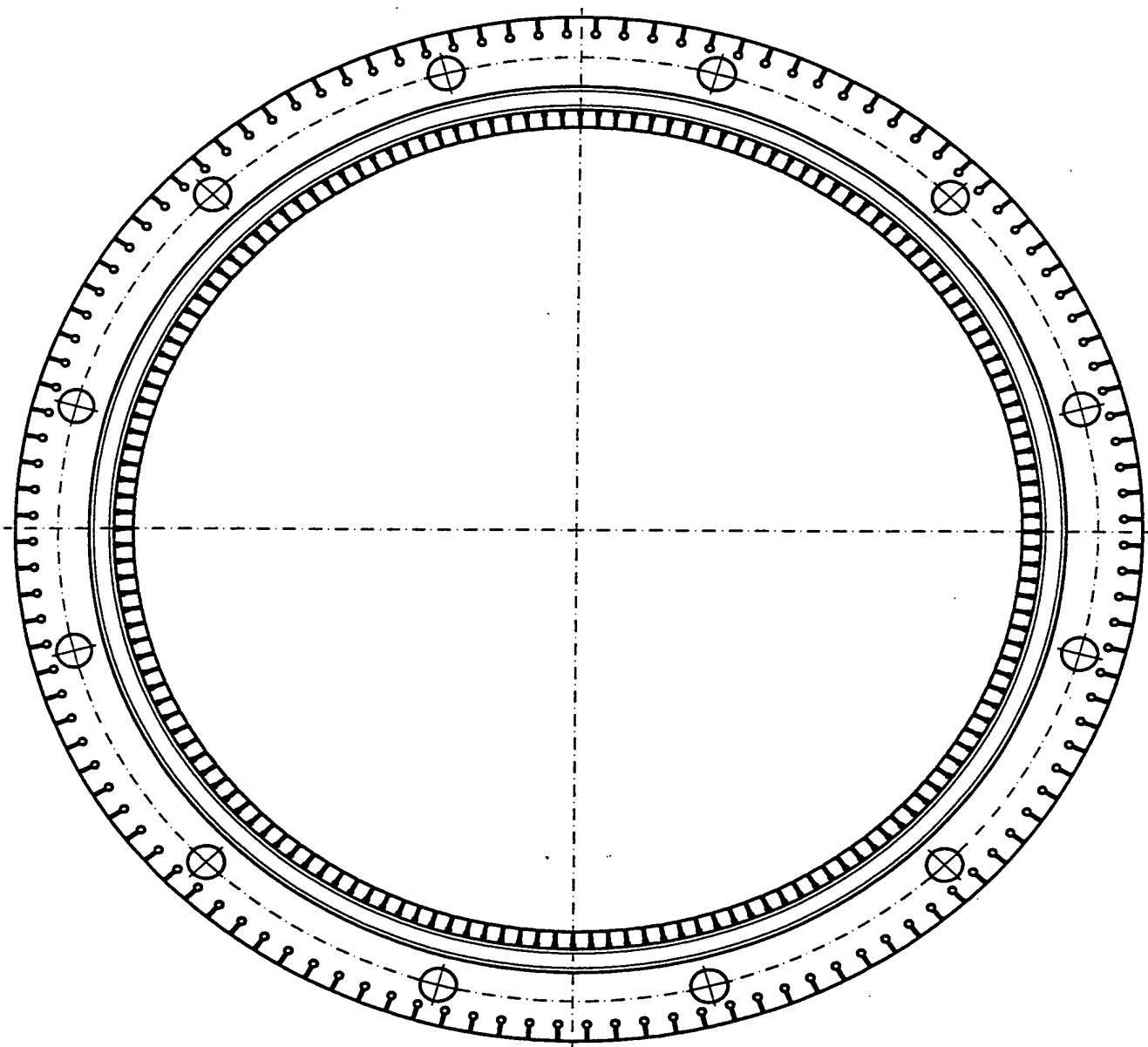


fig.9